



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH VÝROBNÍHO PROCESU PRO DÍL ZE VSTŘIKOVACÍ FORMY

THE DESIGN OF PRODUCTION PROCESS FOR A PART OF THE INJECTION
MOLD

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Betáš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Milan Kalivoda

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Martin Betáš**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Milan Kalivoda**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh výrobního procesu pro díl ze vstřikovací formy

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Znalost funkčnosti a konstrukce vstřikovacích forem. Všeobecné zákonitosti a úvahy o možných způsobech výroby jednotlivých dílů formy. Sestavení výrobního procesu pro zákazníkem určený typ formy.

Cíle bakalářské práce:

1. Představení vstřikovací formy.
2. Návrh konkrétního provedení dle požadavku zákazníka.
3. Zpracování TPV dokumentace.
4. Technicko-ekonomické posouzení.
5. Diskuze výsledků.

Seznam doporučené literatury:

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: CERM, s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravky pro obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s.r.o., 2003. 193 s. ISBN 80-214-2336-6.

FREMUNT, Přemysl a Tomáš PODRÁBSKÝ. Konstrukční oceli. 1. vyd. Brno: CERM, s.r.o., 1996. 262 s. ISBN 80-85867-95-8.

FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli. 1. vyd. Brno: Dům techniky Brno, 1994. 234 s.

Příručka obrábění, kniha pro praktiky. 1. vyd. Praha: Sandvik CZ, s.r.o. a Scientia, s.r.o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.

LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Praha: Scientia, s.r.o., 2000. 986 s. ISBN 80-7183-164-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška,
CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický,
Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem výrobního procesu pro díl vyráběný pomocí vstřikovací formy. Obsahuje kromě rozboru částí a funkcí vstřikovací formy také návrh konkrétního provedení výrobku podle požadavků zákazníka, tvorby TPV dokumentace a návrhu výrobního procesu pro daný výrobek také výpočet celkových nákladů na jeden výrobek.

KLÍČOVÁ SLOVA

Vstřikovací forma, tvorba TPV dokumentace, návrh výrobního procesu, normálie, vstřikovací lis,

ABSTRACT

This thesis deals with the design of the production process for the part produced by the injection mold. In addition to analyzing the parts and functions of the injection mould, the thesis also includes the draft of a specific product design given by the customer's requirements, the creation of TPV documentation and the draft of the manufacturing process for the product, also the calculation of the total operation costs per one piece.

KEY WORDS

Injection mold, making of a TPV documentation, draft of production process, normals, injection press.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BETÁŠ, Martin. Návrh výrobního procesu pro díl ze vstřikovací formy. Brno 2017. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 38 stran, 4 přílohy. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Návrh výrobního procesu pro díl ze vstřikovací formy** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Martin Betáš

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu Ing. Milanu Kalivodovi z VUT v Brně za rady a cenné připomínky při vypracování této bakalářské práce.

Chtěl bych poděkovat výkonnému řediteli firmy 1.PLASTCOMPANY, spol. s r.o. panu Ing. Petru Betášovi za konzultace v oblasti vstřikovacích lisů a vybavení pro vstřikování plastů.

Děkuji také řediteli firmy VKV HORÁK s.r.o. panu Zdenku Horákovi za cenné rady v oblasti výroby vstřikovacích forem.

OBSAH

PROHLÁŠENÍ	6
PODĚKOVÁNÍ.....	7
OBSAH	8
ÚVOD	9
1 PŘEDSTAVENÍ VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	10
1.1 Vtoková soustava.....	11
1.1.1 Studený vtok	12
1.1.2 Horký vtok.....	12
1.2 Vyhazovací systém.....	13
1.2.1 Mechanické vyhazování	14
1.2.2 Vzduchové vyhazování.....	15
1.3 Vliv smrštění plastu	15
1.4 Temperování forem	16
1.5 Odvzdušnění forem	17
1.6 Konstrukční materiály pro formy	18
1.7 Násobnost vstřikovacích forem	19
2 NÁVRH KONKRÉTNÍHO PROVEDENÍ DLE POŽADAVKŮ ZÁKAZNÍKA	21
2.1 Analýza výrobku	21
2.2 Materiál výrobku	22
2.3 Struktura povrchu	22
3 TVORBA TPV DOKUMENTACE	23
3.1 Výroba formy	23
3.2 Upnutí formy a nastavení vstřikovacího lisu.....	23
3.2.1 Upnutí formy	24
3.2.2 Nastavení vstřikovacího lisu.....	24
4 NÁVRH VÝROBNÍHO PROCESU	25
5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ POSOUZENÍ.....	26
6 DISKUZE	29
ZÁVĚR.....	30
ZDROJE	31
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBLŮ A ZKRATEK	33
SEZNAM PŘÍLOH	34

ÚVOD

V dnešní době se vyskytuje stále více výrobků, které jsou vyrobeny z polymeru. Klasické materiály, jako jsou dřevo, sklo nebo kovy jsou v různých odvětvích částečně, nebo úplně nahrazovány polymery. Mezi výhody, díky kterým jsou polymery na vzestupu, jsou kromě jejich vlastností také široká škála použitelnosti a poměrně snadné zpracování. Jednou z metod zpracování, která bude v této bakalářské práci popsána, je vstřikování polymeru ve formě taveniny do vstřikovací formy. K hlavním výhodám, proč je tato metoda používána, je kromě možnosti výroby ve velkých sériích, také tvarová rozmanitost výrobku.

Návrh a výroba vstřikovací formy si žádá kromě teoretických a praktických znalostí například CNC obráběcí stroje, software pro tvorbu modelu a pro simulaci toku a chladnutí taveniny ve formě. Pro usnadnění konstrukce formy lze využít stavebnicového systému v podobě normálií. Jejich výhodou je výrazné zkrácení výrobního času a také zlevnění výroby formy.

Vstřikované plasty mohou být čiré, poloprůsvitné nebo neprůsvitné a se svou strukturou povrchu, která může být od velmi hrubé po skleněně lesklou, nachází využití v široké škále průmyslových odvětví.

V této bakalářské práci bude navrhnout model, dle požadavků zákazníka, pro jehož výrobu byla zvolena metoda vstřikování polymeru ve formě taveniny do vstřikovací formy. V bakalářské práci bude také navrhnout výrobní postup pro výrobu vstřikovací formy. Na závěr bude provedeno technicko-ekonomické posouzení, včetně výčtu potřebného vybavení na výrobu a kalkulace celkových nákladů na jeden výrobek.



Obr. 1. Model struhadla na sýr

1 PŘEDSTAVENÍ VSTŘIKOVACÍ FORMY

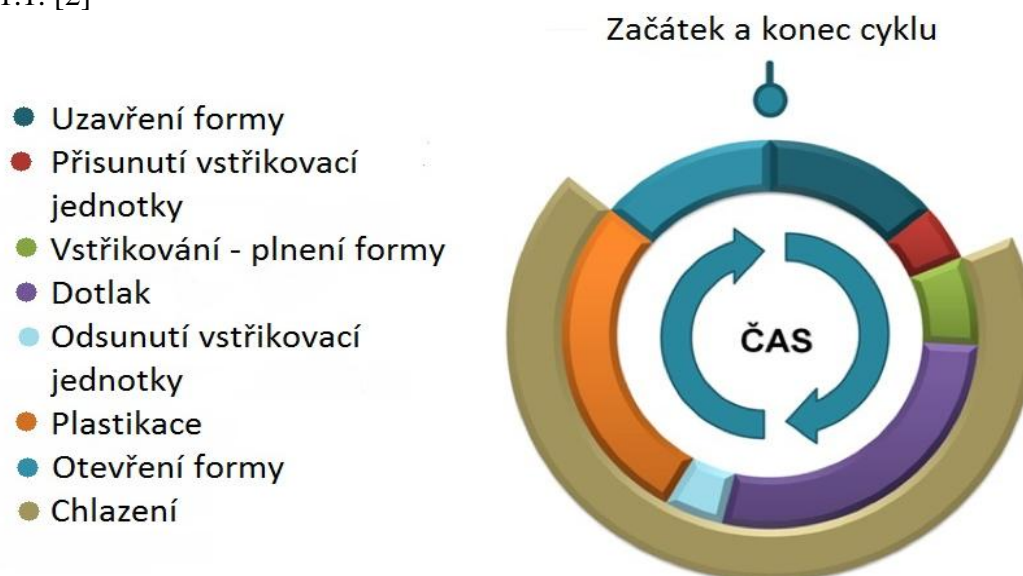
Vstřikovací forma je nástroj, díky kterému vznikne výrobek z plastu. Forma je složitý komplikovaný systém, na který jsou kladeny velké nároky z hlediska kvality, produktivity, spolehlivosti a automatizace výroby. Primární funkcí formy je doprava roztaveného materiálu do dutiny formy a její úplné zaplnění materiálem dříve, než vstřikovaný materiál zatuhne. Sekundární funkcí formy je efektivní odvod nebo přívod tepla v závislosti na typu formy a vstřikovaného materiálu. Další úlohou formy je bezpečné a rychlé vyjmutí výrobku (odformování) v co možná nejkratším čase. [1, 2]

Vstřikovací proces může být obecně rozdělen do několika bodů:

- plastikace,
- vstřikování (plnění),
- dotlak,
- chlazení,
- pohyby vstřikovací formy.

Během plastikace se polymer převádí nejčastěji z tuhých granulí do roztaveného stavu. Toto se děje za současného působení tepla vyvíjeného tepelným zdrojem vstřikovacího lisu a tepla vyvíjeného třením tuhých granulí o vnitřní dutinu tavicí komory vstřikovacího lisu. Během fáze vstřikování se roztavený polymer dopravuje z tavicí komory vstřikovacího lisu přes vtokový systém do jedné nebo více dutin vstřikovací formy. [2]

Poté co je dutina formy naplněna taveninou plastu přibližně na úrovni 90 % - 99 % finálního objemu, nastává fáze dotlaku. Účelem této fáze je doplňování určitého množství taveniny polymeru, která vyrovnává objemové změny vstřikovaného dílu při jeho chladnutí, kdy se smršťuje. Hodnota smrštění je specifická pro různé druhy polymeru. Po uplynutí určité doby tavenina plastu zatuhne a její tok ustává. Fáze chlazení umožňuje plastu v dutině vstřikovací formě zatuhnout do té míry, aby byl dostatečně tuhý pro odformování. Poté vstřikovací lis provede potřebné pohyby formy, např. pohyblivých jader a vstřikovaný díl je vyjmut ze vstřikovací formy, je tzv. „vyhozen“. Průběh vstřikovacího procesu je možno vidět na obr. 1.1. [2]



Obr. 1.1 Časový průběh vstřikovacího cyklu. [2] – upraveno

Zajištění tří hlavních funkcí vstřikovací formy, tedy doprava polymeru, odvod nebo přívod tepla a odformování vyžaduje mnoho dalších funkcí formy. Tyto funkce jsou uvedeny v tab. 1.1.

Tab. 1.1 Základní vlastnosti vstřikovací formy. [2]

Vstřikovací forma					
Doprava taveniny		Přenos tepla		Odformování dílů	
Odolnost proti deformacím	Vedení taveniny	Odvod tepla z dílu	Odvod tepla z formy	Otevření formy	Odformování dílů
Podpěrné válce	Vtokový systém	Počet temperačních kanálů	Rychlost toku temperační kapaliny	Dělicí rovina	Vyhazovače
Tloušťka desek	Ústí vtoku	Rozměry chladicích kanálů	Průřez vedení temperační kapaliny	Vytažení jader	Robotické vyjímání
Vícenásobná propojení		Tepelně vodivé vložky			Tahače jader

Formy se dělí z pravidla na dvě části. První z nich je nepohyblivá, neboli vtoková část formy, která se stará o přívod taveniny a je pevně přimontována ke vstřikovacímu stroji. Druhá část je pohyblivá, neboli tvarová část formy, do které je přivedena tavenina, která zde zatuhne. Tato část je z pravidla složitější, neboť krom samotné dutiny na taveninu obsahuje také temperační kanály, vyhazovací systém, vodicí kolíky a další. [1]

1.1 Vtoková soustava

Vtoková soustava je systém kanálů, které rozvádějí taveninu ve vstřikovací formě, které lze vidět na obr. 1.2. Vtokovou soustavou je dutina nebo soustava dutin, které se nachází mezi tryskou taveniny a prostorem dutiny výrobku. Soustava musí zajistit rovnoměrné rozvedení taveniny do všech dutin formy, odtržení od výrobku a její vlastní vyhození z formy. Z finančních důvodů je vhodné volit objem vtokové soustavy co nejmenší, neboť po vyhození výstřiku z formy je tato soustava odstraněna. V některých případech je možné tento odpad znovu použít pro výrobu. [3]

Vtoková soustava je navrhována podle počtu tvarových dutin, jejich rozmístění, konstrukčního provedení výrobku, typu materiálu a podle toho, jestli se jedná o studenou nebo horkou vtokovou soustavu. [3]



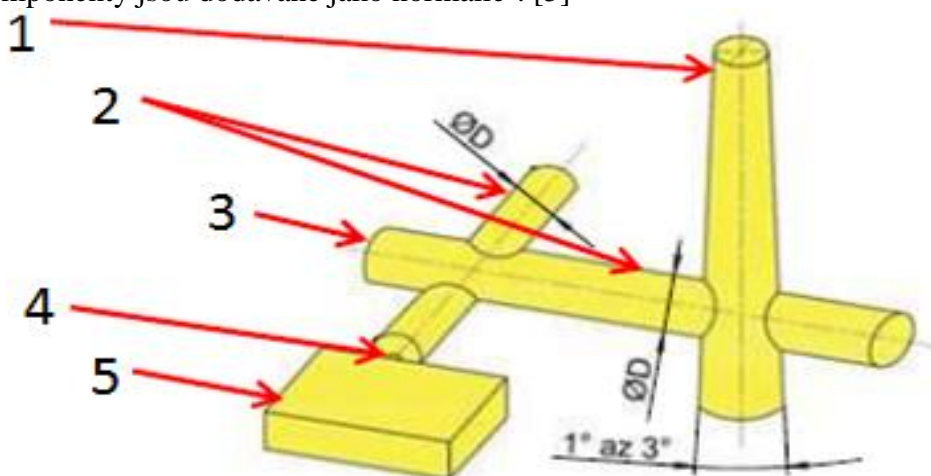
Obr. 1.2 Vtoková soustava vstřikovací formy
1- vtokový kužel, 2- rozváděcí kanál, 3- ústí vtoku. [4] - upraveno

1.1.1 Studený vtok

Při vstříknutí taveniny plastu do studeného vtokového systému začíná tavenina na stěnách tuhnut. Vytvoří se tak izolační vrstva ztuhlého plastu a tavenina proudí horkým jádrem. Tím se zajistí rovnoměrné zaplnění všech dutin. Tavenina vstupuje do dutiny přes vtokové ústí, které může být řešeno několika způsoby dle konstrukce formy a vstříkovaného dílu. Po zaplnění dutin nastává dotlak. Studenou vtokovou soustavu je možno vidět na obr 1.3. [2, 5]

Při dotlaku je udržován tlak pod definovaným tlakem a do dutiny je doplňována tavenina, nahrazující ztrátu objemu způsobenou smrštěním chladnoucího plastu. Tím je omezeno objemové smrštění výlisku. Proto je důležité, aby byla tavenina v jádru výlisku vždy propojena s vtokem, jehož okolí má tuhnut až jako poslední. Na konci cyklu je hotový výstřík i s už ztuhlou vtokovou soustavou vyhozen z formy, neboli odformován. [5]

K nevýhodám patří větší spotřeba materiálu, delší doba plastikace a nutnost zajistit oddělení vtokových zbytků od výrobku. K výhodám patří levnější a jednodušší provedení formy a komponenty jsou dodávány jako normálie¹. [5]



Obr. 1.3 Vtoková soustava

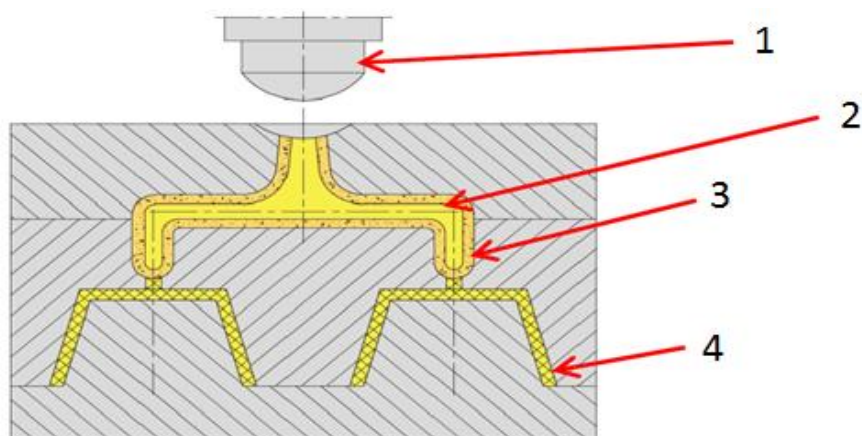
1 - hlavní vtokový kanál, 2 - rozváděcí kanál, 3 - zachycovač chladného čela taveniny plastu,
4 - vtokové ústí, 5 - vstříkovaný díl. [5] - upraveno

1.1.2 Horký vtok

Ve vtokovém systému zůstává tavenina plastu i po ukončení cyklu. Vtokový systém je tepelně izolován, nebo i vyhříván. Tavenina chladne pouze na stěnách kanálů vtokové soustavy, čímž je tvořena další izolace. V ústí vtoku do dutiny formy vzniká při každém vstříkovacím cyklu ztuhnutím taveniny tenká blanka, která je při každém dalším vstříkovacím cyklu taveninou protržena. Horký vtok je možno vidět na obr. 1.4. [5]

Horký vtok je vhodný pro výstříky s tenkou stěnou, při vstříkování několika vtoky, nebo u výstříků natolik malých, že je jejich objem srovnatelný s objemem vtokového zbytku. Nevýhodou řešení pomocí horkého vtoku je vyšší cena forem. K výhodám se řadí úspora materiálů, absence odstraňování vtokových zbytků a zkrácení doby procesu.[5]

¹ Normálie- Standardizované díly- normované základní prvky pro stavbu forem [13]



Obr. 1.4 Horká vtoková soustava

1 - tryska stroje, 2 - tavenina, 3 - izolační vrstva (ztuhlý plast), 4 - vstřikovaný díl. [5] - upraveno

1.2 Vyhazovací systém

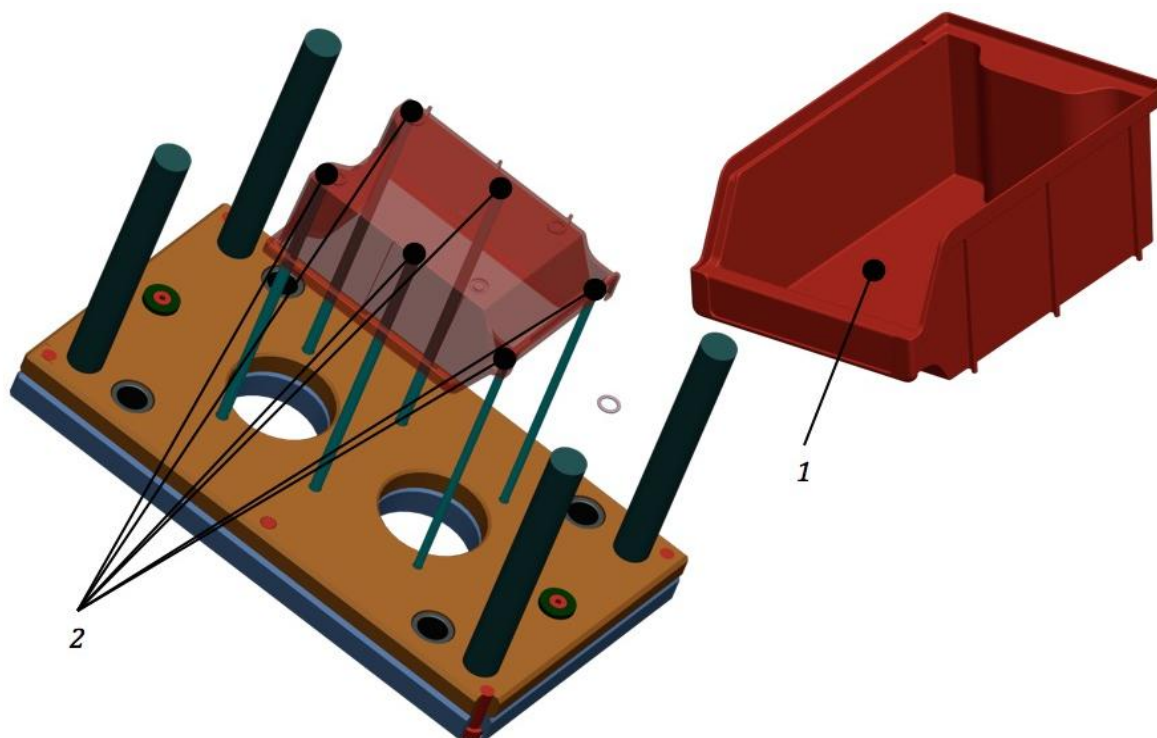
Vyhazovací systém vstřikovací formy je zodpovědný za odformování vstřikovaného dílu z dutiny poté, co je vstřikovací forma otevřena. Vyhazovací proces se skládá ze dvou hlavních částí: [1, 2]

- vysunutí vyhazovače a vyhození výstřiku z formy (odformování),
- zasunutí vyhazovače do původní polohy.

Komplexnost vyhazovacího systému se může velmi výrazně lišit podle požadavků na konkrétní procesní aplikace. Musí být vyřešena řada bodů tak, aby fungoval nejen vyhazovací systém ale i vstřikovací forma jako taková. Mezi tyto body patří: [2]

- osy směrů pohybů vyhazovacího systému,
- rozložení vyhazovačů na vstřikovaném dílu,
- síla na vyhazování,
- úkosy stěn formy,
- struktura povrchu.

Vyhazovací mechanismus je ovládaný buď mechanickým vyhazovačem, který je součástí stroje, nebo samostatným zařízením ve formě. Nejčastěji se používají na vyhazování výstřiků z forem kolíkové vyhazovače, viz obr. 1.5, které se umísťují rovnoměrně na ploše nebo na obvodě výrobku. Právě umístění, rozložení a tvar vyhazovačů má při odformování vliv na rozložení vyhazovací síly nebo na možné vzpříčení výstřiku ve formě. Vzpříčení výstřiku ve formě při odformování hrozí například u dlouhých, tenkostěnných výstřiků. Zde hrozí jejich deformace, nebo úplné zničení. Za opětovné vracení vyhazovačů se nejčastěji stará pružina (může být řešeno i hydraulicky, pneumaticky nebo mechanicky při pohybu formy). [1, 2]



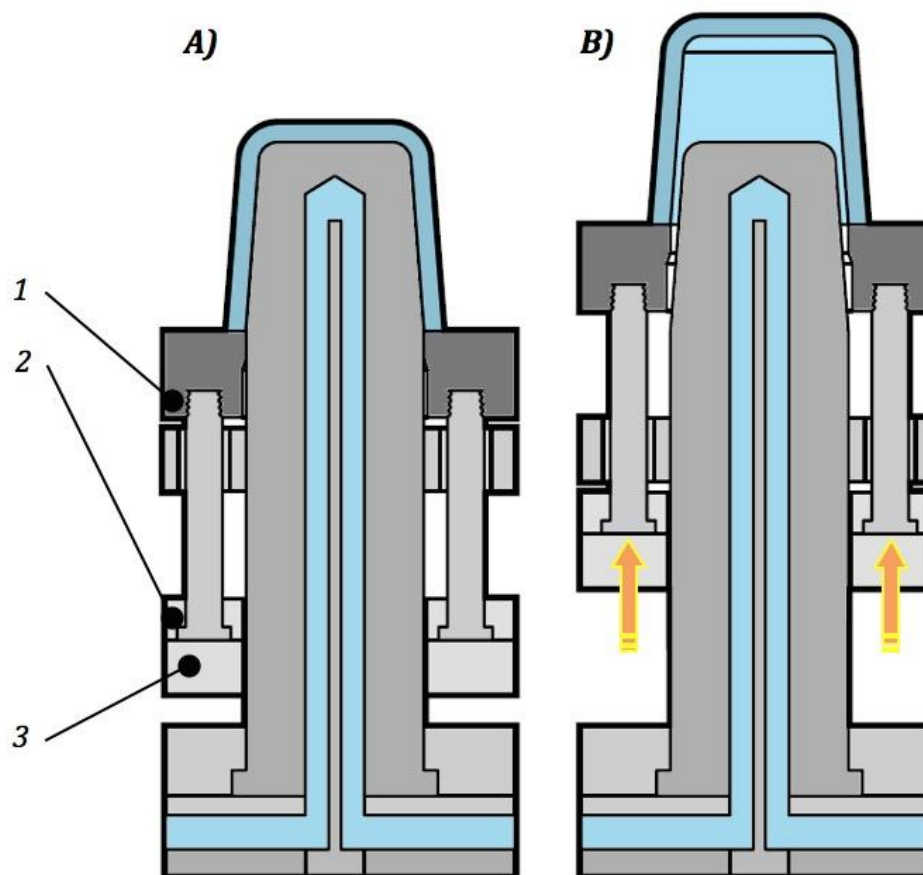
Obr. 1.5 Kolíkový vyhazovací systém
1 - vstříkovaný díl, 2 - umístění vyhazovačů na vstříkovaném dílu. [2]

1.2.1 Mechanické vyhazování

Mechanický typ vyhazování patří mezi nejčastější způsoby vyhazování výstřiků z forem. Vyhození je provedeno pomocí vyhazovacích kolíků, stíracích desek aj. Vyhazovací kolíky jsou díky své jednoduchosti nejjednodušším a nejčastějším způsobem vyhazování. Kolíky mohou být umístěny jak na vstřikovacím lisu, tak mohou být součástí formy. [1, 2]

Vyhazovací kolíky mohou mít za funkci i odvzdušnění formy, pokud jsou ve formě uloženy s vhodnou vůlí, vzhledem k tekutosti a tlaku vstříkovaného materiálu. Nevýhodou vyhazovacích kolíků, ať už mají kulatý, hranatý, či jiný tvar je to, že mohou zanechat obtisk na výstřiku. Řeší se to rozmístěním vyhazovacích kolíků nebo zvolením stírací desky nebo stíracích kroužků. [1, 2]

Stírací deska funguje tak, že tlačí na výstřik po celém jeho obvodu, jak je možné vidět na obr. 2.6. Tento způsob vyhazování zanechává na výstřiku minimální stopu po vyhazovači a způsobuje menší deformace než systém s kolíkovým vyhazovačem, díky lepšímu rozložení tlaku. Tento způsob je vhodný pro tenkostěnné výrobky nebo v případech, kde je potřebná velká vyhazovací síla, která by například u kolíkového vyhazovače zanechala na výstřiku otlak. [1, 2]



Obr. 2.6 Princip funkce stírací desky

1 – stírací deska, 2 – přidržovací stírací desky, 3 – hlavní vyhazovací deska, A – vyhazovací systém v zadní pozici, B – vyhazovací systém v pohybu do přední pozice. [2]

1.2.2 Vzduchové vyhazování

Tento typ vyhazování je vhodný zejména pro velkorozměrové tenkostěnné výstřiky, kde hrozí během mechanického odformování deformace výstřiku. Stlačený vzduch je obvykle přiveden např. jehlou do míst smrštění nebo ulpění plastu na formu a tím je dosaženo jeho oddělení bez poškození výstřiku. Vyhazování pomocí vzduchu je používáno spolu s mechanickým vyhazováním, kde je potřebná vyhazovací síla menší. [1, 2]

1.3 Vliv smrštění plastu

Při vstřikování se tavenina plastu dopravuje do dutiny formy, kde následně ztuhne, čímž vznikne plastový výstřik. Rozměry ztuhlého výstřiku jsou menší, než rozměry dutiny formy vlivem smrštění. Smrštění je tedy nevratná změna rozměrů výstřiku po jeho odformování. Změna rozměrů ve směru toku je z pravidla větší než ve směru kolmém na tok taveniny. Další vliv na smrštění má geometrie dutiny formy, tloušťka stěny, umístění vtoku a technologické parametry (teplota taveniny, velikost tlaku a dotlaku, doba vstřikování a teplota formy). Smrštění je specifická vlastnost pro konkrétní materiál a je udáváno výrobcem, který musí rovněž zajistit, aby byly vlastnosti dodávaného materiálu konstantní. [1]

Při návrhu vstřikovací formy se musí brát v úvahu nejen mechanické vlastnosti materiálu, ale i geometrie formy nebo struktura povrchu formy. Např. kuželovitý výstřik

s hladkým povrchem se odformuje snadněji, než válcovitý s hrubší strukturou povrchu. V krajních případech se může stát, že dojde při velkém smrštění výstřiku, hrubém povrchu formy a nevhodně zvolené geometrii dutiny k ulpění povrchové vrstvy výstřiku na formě a dojde k jejímu odtržení při odformování a tím k znehodnocení výrobku.

1.4 Temperování forem

Temperování forem zajišťuje dosažení provozní teploty tvářecí části formy na požadovanou hodnotu a její udržení v tolerančním rozmezí pomocí temperačního média během cyklického vstřikování. [12]

Rovnoměrná a správná teplota tvarových součástí formy má podstatný vliv na kvalitu výrobku a na ekonomičnost vlastní výroby. Toto vyžaduje velmi precizní provedení temperovacího systému při konstrukci formy. V momentě, kdy je horká tavenina vstřikována do dutiny formy je nutné z formy odvádět co nejrychleji a co nejrovnoměrněji velké množství tepla. Nejintenzivnější chlazení bude v místě největšího průtoku taveniny, kde dochází k největšímu hromadění tepla. Naopak v případech, kdy jsou vyráběny velkoplošné výrobky s tenkou stěnou je nutné formu ohřívat. Předehřev formy je nejvhodnější pomocí teplé vody, která koluje ve vyhřívacích kanálech formy a je napojena na temperační systém formy. Doporučené teploty formy, taveniny a odformovaného dílu lze vidět v tab 1.2. [1]

Tab. 1.2 Příklad doporučených teplot při vstřikování vybraných typů plastů. [2]

Typ materiálu	Doporučená teplota formy [°C]	Teplota taveniny [°C]	Doporučená teplota dílu při odformování [°C]
PA	80 - 120	260 - 300	110 - 130
PC	80 - 100	280 - 320	140
PC + skelná vlákna	80 - 130	310 - 330	150
ABS	60 - 80	220 - 260	80 - 100
SAN	50 - 80	230 - 260	80 - 95
PBT	80 - 100	250 - 270	140
PBT + skelná vlákna	80 - 100	250 - 270	150
PP	30 - 60	200 - 250	70 - 90
PE	30 - 60	180 - 230	60 - 90

Temperaci lze provádět dvěma způsoby [2]:

- pasivní temperování,
- aktivní temperování.

Při pasivním temperování se využívá kombinace tepelně vodivých a izolačních materiálů. Temperování tepelně vodivých materiálů je vhodné pro špatně dostupná místa, která mají malou plochu pro odvod tepla a musí být vyrobeny z materiálů, které dobře vedou teplo (měď, hliník), aby jej bylo možno odvést. Tyto teplo vodivé materiály musí být vždy spojeny s aktivním chlazením. [6]

Pod aktivním temperováním se rozumí přímé odvádění nebo dodávání tepla do formy pomocí média (např. voda, olej, pára). Médium proudí kanály ve formě a to jak v pohyblivé, tak v nepohyblivé části formy. [6]

Rozložení temperačních kanálů je u větších a složitějších forem vhodné ověřit softwarově, pomocí simulačního chladnutí. Temperační systém se navrhuje tak, aby rozdíl vypočtený softwarem na povrchu dílu při odformování nebyl větší, než 5 °C. [6]

1.5 Odvzdušnění forem

Před vstřikování taveniny do formy je forma vždy naplněna okolním vzduchem, což může negativně ovlivnit jak kvalitu, tak mechanické vlastnosti výstřiku. Při plnění formy taveninou se rychle zvyšuje tlak uzavřeného vzduchu ve formě (hodnoty 20 - 150 MPa) a teplota uzavřeného vzduchu stoupá na hodnoty blízké teplotě rozkladu plastu, což může uvnitř komory zapříčinit vznícení nebo spálení plastu. Tento jev se označuje jako Dieselův efekt², který je zobrazen na obr. 2.7. Mechanické vlastnosti výstřiku jsou negativně ovlivněny tvorbou bublin, které zůstávají lapeny ve stěnách výstřiku. Z těchto důvodů je potřeba formu během procesu vstřikování taveniny dostatečně odvzdušnit. Pokud se vyrábí tenkostěnné výrobky s nižší teplotou taveniny, vstřikovacím tlakem a rychlostí, může se stát, že tavenina nevyplní celý prostor dutiny a vzniká nedotečený výstřik. [1, 2, 7]

Během vstřikovacího procesu roste nejen tlak vzduchu ve formě, ale s ním i tlak v tavenině. Při nedostatečném odvzdušnění je potřeba zvolit vyšší vstřikovací tlak. To může mít za následek zanesení vysokého zbytkového pnutí do zatuhlého výstřiku, což vede k jeho křehkosti. [7]

Při volbě místa odvzdušnění se bere v úvahu tvar výstřiku a tok taveniny. Nejčastěji se proto volí odvzdušnění pomocí dělicí roviny, nebo uložení vyhazovačů, které musí být uloženo s vhodnou vůlí. Při odvzdušnění lze také použít porézní materiály, které propustí pouze vzduch a ne taveninu. Pokud je šířka odvzdušňovacího kanálu příliš široká, může do něj zatéct tavenina a způsobit kromě povrchové vady výstřiku i jeho ucpání. Pokud je tato vada z estetického nebo konstrukčního pohledu nepřijatelná, musí se systém odvzdušnění upravit. Umístění odvzdušňovacích kanálů se určí pomocí simulování toku taveniny. [7]

Před dokončením formy se ale zpravidla uskuteční několik zkušebních výstřiků, které odhalí skryté nedostatky a lze řešení odvzdušnění upravit. Vhodné šířky odvzdušňovacích kanálů pro vybrané materiály je zobrazeno v tab. 1.3 [1, 2]

Tab. 1.3 Doporučené šířky odvzdušňovacích kanálů dle typu plastu. [2]

Typ plastu	Šířka odvzdušňovacího kanálu [mm]
PC, POM	max. 0,05
PS, ABS	max. 0,05
PA	0,02 - 0,03
PBT	max. 0,03
PA + skelná vlákna	0,05 - 0,05
strukturní pěny	max. 0,01

² Dieselův efekt- pokud vzduch nemůže unikát, vzniká riziko ohřátí vzduchu uvnitř formy nad teplotu degradace vstřikovaného materiálu. [14]



Obr. 2.7 Vlevo Dieselův efekt, vpravo vylepšen odvězdušňovací systém. [8]

1.6 Konstrukční materiály pro formy

Forma musí zajišťovat opakovanou a mnohonásobnou reprodukci plastového výrobku. Proto jsou na ni kladené určité požadavky z hlediska pevnosti, houževnatosti, stability, životnosti a dobré teplotní vodivosti. Povrch formy musí být možno dobře obrábět, případně leštit a nesmí chemicky degradovat vlivem agresivních látek, které plast obsahuje. Zvolený materiál musí splňovat všechny výše zmíněné požadavky. [1]

Z technologického hlediska jsou požadavky na materiál následující: tvárnost za tepla, snadná obrobiteľnosť, vhodnosť tepelného zpracování, leštitelnost, pevnost v tahu a tlaku, chemická stálost nebo stálost rozměrů. [1]

K vhodným materiálům na výrobu forem patří zejména ocele. Mezi doporučené se řadí [1]:

- ocele pro použití v přírodním stavu - 12 060 (C55),
- ocele cementační - 19 487 (21MnCr5),
- ocele na zušlechťování a nitridování - 14 340 (34CrAl6),
- ocele na kalení a popouštění - 19 633 (55NiCrMoV7).
-

Pokud je u výrobku důležitá struktura povrchu, např. pohledová, nebo dotyková strana, je velmi důležitá leštitelnost materiálu, protože struktura povrchu výstřiku je přímo úměrná struktuře povrchu materiálu v dutině formy, která je s pohledovou stranou v kontaktu. Hodnoty Ra a jejich popis lze vidět v tab. 1.4 [1]

Tab. 1.4 Struktura povrchu u obráběných forem. [7]

Hodnota Ra [μm]	Obrobená a požadovaná jakost ploch
0,05	nejpřesnější tvárnice a tvárníky s opracováním na vysoký lesk
0,1	tvárníky a tvárnice s opracováním na běžný lesk
0,2	tvárníky a tvárnice s dokonalým povrchem
0,4	tvárníky a tvárnice s matně opracovaným povrchem dosedacích ploch
0,8	opracování tvárnic a tvárníků u běžných forem a u dosedacích ploch
1,6	opracování tvárnic a tvárníků méně náročných forem a dosedacích ploch

1.7 Násobnost vstřikovacích forem

Násobnost vstřikovací formy udává, kolik výrobků je možno vystříknout v jednom pracovním cyklu. Vícenásobné formy se volí z ekonomických důvodů, kdy se nejenom zvýší počet výrobků za čas, ale sníží se i náklady na provoz lisu a materiál. Výroba vícenásobných forem je proti jednonásobným dražší, protože je nutné navrhnout a vyrobit vtokovou soustavu tak, aby byly všechny dutiny formy plněny pokud možno stejně a nedocházelo tak odlišnostem mezi jednotlivými výrobky z jednoho výstřiku. [1, 2]

Zda se vyplatí vícenásobná forma nebo ne, rozhodují následující parametry [1]:

- celkový počet výrobků a požadovaná rychlost výroby,
- cena vícenásobné formy oproti jednonásobné,
- kapacita vstřikovacího lisu.

Násobnost formy se dá vypočítat podle následujících vztahů [1]:

1) *Násobnost podle uzavírací síly*

$$n_u = \frac{0,8 \cdot F_{uz}}{S_{skut} \cdot p_v} \quad (2.1)$$

kde: n_u - násobnost podle uzavírací síly [-]
 F_{uz} - velikost uzavírací síly stroje [N]
 S_{skut} - plocha průmětu výstřiku do dělicí roviny [mm²]
 p_v - vstřikovací tlak [N·mm⁻²]

2) *Objemová násobnost*

$$n_v = \frac{V}{V_{skut}} \quad (2.2)$$

kde: n_v - násobnost podle objemu [-]
 V - maximální objem vstřikovaného materiálu (závisí na vstřikovacím lisu) [mm³]
 V_{skut} - skutečný vstříknutý objem [mm³]

3) *Plošná násobnost*

$$n_s = \frac{F_{uz}}{p_{dov} \cdot S_{skut}} \quad (2.3)$$

kde: n_s - násobnost podle plochy [-]
 S_{teor} - teoretická plocha [mm²]
 F_{uz} - velikost uzavírací síly [N]
 p_{dov} - dovolený vstřikovací tlak [N·mm⁻²]

4) Ekonomická násobnost

$$n_e = \frac{N \cdot t_c}{S \cdot D \cdot H \cdot k \cdot 3600} \quad (2.4)$$

kde: n_e - násobnost dle ekonomiky	[-]
N - předpokládaný počet kusů výroby	[ks/rok]
t_c - čas jednoho cyklu	[s]
S - počet směn	[počet/den]
D - počet pracovních dní v roce	[dnů/rok]
H - počet hodin za směnu	[hod/směna]
k - koeficient využití pracovní směny	[%/100]

Z výše uvedených vztahů se získají celkem 4 hodnoty, které doporučují, kolika násobná forma je z daného hlediska vhodná. Za platnou se vezme nejnižší hodnota násobnosti formy. Vzhledem k symetrii formy je vhodné zvolit sudou násobnost formy, což ovšem není podmínkou pro správnou funkčnost formy. V poslední fázi se provede kontrolní výpočet, zdali je přídržovací síla dostatečná. Musí platit, že [1]:

$$P > S_{skut} \cdot p \quad (2.4)$$

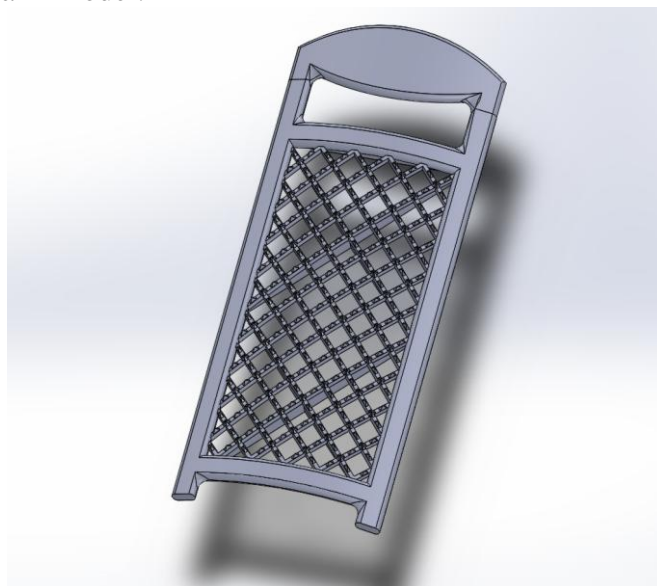
kde: P - přídržovací síla lisu	[N]
S_{skut} - plocha průmětu výstřiku do dělicí roviny	[mm ²]
p - tlak ve formě	[N·mm ⁻²]

2 NÁVRH KONKRÉTNÍHO PROVEDENÍ DLE POŽADAVKŮ ZÁKAZNÍKA

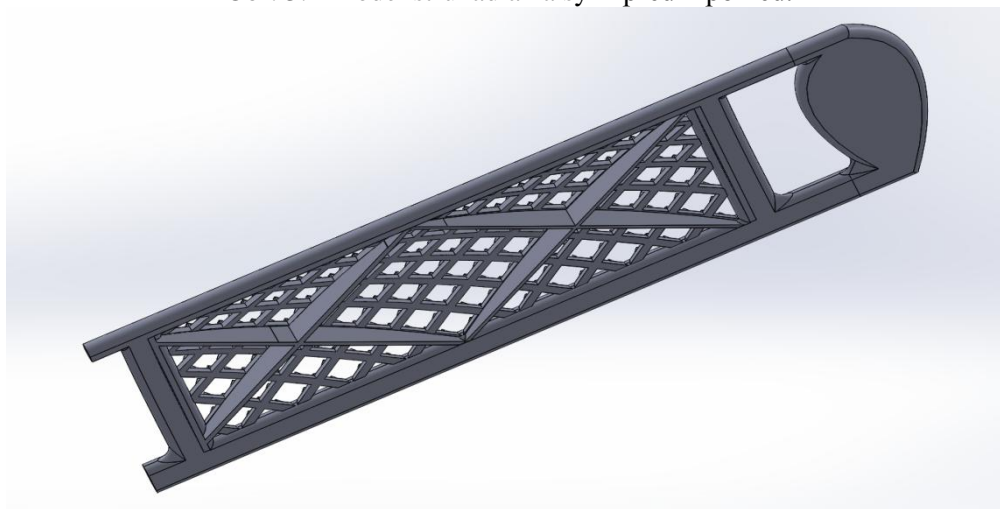
Zákazník zadal poptávku na výrobu struhadla na tvrdý sýr. Dle jeho požadavků se bude výrobek používat v domácích podmínkách. Zákazník klade důraz na odolnou konstrukci výrobku, dále požaduje hmotnost výrobku nanejvýš 100 g, zdravotní nezávadnost a odolnost materiálu výrobku. Plocha roštu na strouhání byla zadána na 150 cm². Zákazník nejprve požaduje model výrobku a poté odhad celkových nákladů na jeden kus hotového výrobku. Následně se rozhodne, zda výrobu formy zadá, či nikoliv.

2.1 Analýza výrobku

Je požadována výroba formy na výlisek, který bude sloužit jako struhadlo na sýr pro domácí využití. Autor modelu zvolil se souhlasem zákazníka obdélníkový tvar roštu s příčným žebrováním, kde budou vroubky ve tvaru jehlanu sloužící na strouhání sýru. Pro zvýšení pevnosti výrobku bude ohnutý a vyztužený žebry v zadní části, viz obr. 3.1 a 3.2. Zákazník schválil finální model.



Obr. 3.1 Model struhadla na sýr - přední pohled.



Obr. 3.2 Model struhadla na sýr - zadní žebrování.

2.2 Materiál výrobu

Po konzultaci se zákazníkem bylo rozhodnuto, že se výrobek bude vyrábět z transparentního polykarbonátu. Tento materiál má dobré mechanické vlastnosti, rovněž splňuje zdravotní nezávadnost při kontaktu s potravinami a jeho průhlednost bude esteticky vhodná do kuchyňského prostředí.[9]

Polykarbonát je amorfní, dokonale průhledný termoplast. Tento materiál má nejen dobrou pevnost v tahu a pružnost, ale také tvrdost, houževnatost a odolnost proti křehkému lomu. Jeho teplota zesklenní³ je $T_g = 145 - 150\text{ °C}$ a je dlouhodobě teplotně stálý do 135 °C , což je další vhodná vlastnost do kuchyňského prostředí. [2]

Tento materiál je vhodný díky svým optickým vlastnostem, používá se na výrobu skel brýlí, předních a zadních reflektorů u automobilů, zastřešení skleníků a bazénů nebo na výrobu CD a DVD. [9]

2.3 Struktura povrchu

Z praktického, ale i estetického hlediska bude mít výrobek dle požadavku zákazníka lesklý povrch, kde může vyniknout průzračnost materiálu. To klade velké nároky na dokončovací operace při výrobě vstřikovací formy.

Jeden způsob je pomocí leštění. Při leštění se postupuje od hrubých, po jemné brousící materiály. Pro dokončení se používají brousící a lešticí pasty. Nejvyššího lesku se dosahuje za pomoci diamantových leštících past. [10]

K dalším metodám, jak finálně dokončit povrch formy patří například elektroerozivní obrábění, laserové gravírování nebo technologie tvrdého frézování⁴. Tvrdé frézování výrazně zkracuje dobu leštění, které po něm zpravidla následuje. Aby bylo dosaženo zkrácení času při kombinaci tvrdého frézování a leštění, musí mít obrobený povrch po tvrdém frézování hodnotu maximálně $Ra = 0,1\text{ }\mu\text{m}$. [2, 11]

³ Teplota zesklenní- teplota, při které polymer přechází ze stavu kaučukovitého do stavu sklovitého [15]

⁴ Tvrdé frézování- obrábění ocele s tvrdostí přes 56 HRC nebo pevností přes $2\,000\text{ N.mm}^{-2}$ [11]

3 TVORBA TPV DOKUMENTACE

Po stanovení všech parametrů, které má forma splňovat a po vytvoření modelu formy následuje zhotovení TPV dokumentace (technická příprava výrobku). Tato dokumentace obsahuje veškeré potřebné podklady pro výrobu a následnou montáž, jako je materiál, obráběcí operace včetně délky jejich dob nebo výběr normálií, které urychlí a hlavně zlevní výrobu vstřikovací formy. [2]

3.1 Výroba formy

Na začátku výroby se zvolí normálie vhodné velikosti, do které se později bude obrábět tvarová dutina. Dále se vyberou ostatní komponenty formy (temperační, vyhazovací, izolační aj. části formy). Po zvolení normálie se začne tzv. zúhlováním oceli, což je proces, kdy se blok oceli připraví na obrábění tím, že se na něm zhotoví držáky a otvory pro upnutí k obráběcímu stroji. [2]

Pokud není temperace formy řešena v podobě normálie, je nutno vytvořit temperační kanály přímo do bloku s tvarovou dutinou. Po přípravě bloku se jako první vyvrtají temperační kanály. Pokud se vrtají krátké kanály, je možno použít standardních šroubových vrtáků, ale pro dlouhé kanály se používají speciální vrtáky, které obsahují vodící pouzdra, které nejenom že vedou vrták, ale slouží i k přívodu procesní kapaliny a odvodu třísek. Po té, co se dokončí vrtání temperačních kanálů, následuje obrobení tvarových ploch formy hrubovacími nástroji, nechává se přídavek 1,5 mm vůči finálním rozměrům. [2]

Je nutné dodržovat toto pořadí obrábění, tedy nejprve vrtání temperačních kanálů a poté obrábění tvarových ploch. Vrtání temperačních kanálů už do obrobené tvarové části formy by mohlo způsobit deformace. Co se týká výroby nepohyblivé části formy, je zde možno výše zmíněné pořadí prohodit, protože zde není riziko vzniku vad tak vysoké. [2]

Finální frézování (finiš) ale musí být vždy prováděno až po vrtání temperačních kanálů. V následujícím procesu se obrábí všechny plochy, které nebudou v kontaktu se vstřikovaným dílem, tzn. vodící prvky pro pohyblivé části formy, dosedací plochy, otvory pro upínací šrouby aj.. Pokud to vyžaduje postup obrábění, následuje po třískovém obrábění i elektroerozivní obrábění. Pro tuto operaci je nutno vyrobit elektrody, nejčastěji z grafitu, které umožňují detailnější obrábění. Elektroerozivní obrábění je většinou následováno leštěním povrchu. [2]

Po všech operacích následuje kontrola rozměrů, buďto ruční nebo pomocí 3D skeneru. Aby nedocházelo k řetězení chyb, které by se zjistili až při konečné kontrole, tak je vhodné, aby byla provedena kontrola rozměrů po každé operaci. Po kontrole výroby, pokud je to nutné, následuje lešticí fáze, kdy se vyleští veškeré plochy dutiny, které budou tvořit pohledovou část výrobku. [2]

3.2 Upnutí formy a nastavení vstřikovacího lisu

Před každým zahájením výroby je nutné připravit stroj na provoz. To se může lišit, pokud je na daném stroji je upnutá forma a pokračujeme ve výrobě, nebo se musí teprve forma do lisu osadit a nastavit. Ať se s výrobou začíná nebo pokračuje, na začátku každé výroby je nutné vstřikovací lis nejprve zapnout a předežhát hydraulický olej. Nyní bude popsán postup, kdy se s výrobou požadovaného dílu začíná úplně od začátku.

3.2.1 Upnutí formy

Nastavení formy probíhá v uzavírací jednotce⁵ vstřikovacího lisu. Po zapnutí lisu a přehřátí hydraulického oleje se usadí vstřikovací forma na nepohyblivou desku lisu pomocí středícího kroužku⁶ a upínek. Jako další krok je uzavření vstřikovací jednotky k formě tak, aby bylo možno upevnit pohyblivou část formy na pohyblivou část lisu. Způsob upnutí je stejný jako u nepohyblivé části. Nyní se odstraní zámek formy, který zabraňoval, aby se deska při transportu nebo upínání neotevřela a nepoškodila. U těžkých forem je zámek pro snadnou manipulaci vybaven okem pro jeřáb. V této chvíli se již může uzavírací jednotka pohybovat tak, jak se bude pohybovat i při výrobě. Po připojení temperační jednotky (jedné nebo dvou) zbývá nastavení dráhy vyhazovače a uzavírací jednotky, rychlost a síla otvírání a zavírání formy. V tuto chvíli je forma připravena na výrobu a následuje nastavení vstřikovacího lisu.

3.2.2 Nastavení vstřikovacího lisu

Při nastavování vstřikovacího lisu se nejprve začíná uzavření formy a příjezdem vstřikovací jednotky⁷ ke vtoku formy. Na vstřikovací jednotce se nastaví parametry vstřiku (množství, tlak a čas), dotlak, nabrání nové dávky, dekomprese a odtržení vstřikovací jednotky. Poté se nastaví čas chlazení, kdy stroj čeká na zatuhnutí materiálu do takové fáze, kdy jej bude možno odformovat. Je klíčové vhodně nastavit dobu nabírání materiálu a čekání stroje, aby nedošlo k překročení tzv. rezidenčního času⁸ a následné degradaci materiálu uvnitř vstřikovací jednotky. Jako poslední se nastaví otevření vstřikovací formy a odformování pomocí vyhazovačů.

Celý proces nastavování uzavírací a vstřikovací jednotky probíhá v manuálním režimu stroje, kdy obsluha např. nastavuje dráhu uzavírací jednotky tak, že ji ručně odtáhne do určité polohy, kde dojde k odformování výstřiku bez jeho poškození. Poté se stroj přepne do poloautomatického režimu. V tomto stavu funguje stroj tak, že po stisknutí tlačítka vykoná stroj pouze jeden vstřikovací cyklus. Tento režim slouží k tomu, aby se opravila veškerá výše zmíněná nastavení. Pokud je vše v pořádku, přepne se stroj do automatického režimu, ve kterém pak probíhá výroba.

⁵ Uzavírací jednotka vyvíjí uzavírací tlak na formu. Slouží k otvírání a zavírání formy.

⁶ Středící kroužek slouží k umístění vstřikovací formy do přesné polohy. Je umístěn na nepohyblivé části formy

⁷ Vstřikovací jednotka slouží k plastifikaci, ohřevu a stříknutí materiálu do dutiny formy

⁸ Rezidenční čas je maximální doba udávaná výrobcem materiálu, kterou může strávit materiál ve vstřikovací jednotce, aniž by začal degradovat.

4 NÁVRH VÝROBNÍHO PROCESU

V předchozí kapitole byl podrobně probrán postup výroby vstřikovací formy. Nyní bude navrhnout postup výroby vstřikovací formy pro požadovaný výrobek, tedy struhadla na sýr

Jako první se zvolí vhodně velká normálie určená k obrábění tvarových ploch, do které se později obrobí tvarové dutiny pro pohyblivou i nepohyblivou část formy. Jako další se vyberou normálie zajišťující temperaci formy. Dále bude probrána vyhazovací část formy. Zde patří podpěrné desky, hlavní vyhazovací deska a samotný vyhazovací systém (viz kapitola 1.2 Vyhazovací systém). Poté se zvolí dvě upínací desky, pro každou polovinu formy jednu. Tyto desky jsou již opatřeny otvory pro přišroubování k vstřikovacímu lisu. Důležitou součástí je řešení vtoku, které lze taktéž seskládat z normálií. Pro upnutí vstřikovací formy do správné polohy vůči vstřikovací jednotce slouží středící kroužek, který se umísťuje do upínací desky nepohyblivé části formy. Forma může být vybavena dalšími součástmi, jako jsou například vodící tyče pro pohyblivá jádra.

Dalším krokem je vybrání vhodného vstřikovacího lisu. Pro každý lis je kromě jiných parametrů důležitá uzavírací síla. Ta se vypočte z tvarové dutiny formy. Platí, že čím užší a delší jsou dutiny, kterými bude tavenina protýkat, tím je potřebný vstřikovací tlak vyšší a tím i vyšší uzavírací síla, aby nedošlo během vstřikování k otevření formy.

Na závěr se zvolí podpůrné vybavení, jak jsou temperační jednotka, dopravníky materiálu nebo sušičky.

5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ POSOUZENÍ

Zákazník požaduje kalkulaci nákladů při různě velkých sériích. Konkrétně jej zajímá výroba od 20 do 200 tisíc struhadel při jednosměnném provozu. Bylo rozhodnuto, že se s ohledem na výrobní kapacity a požadovanou rychlost produkce zvolí vstřikovací forma s dvěma otisky. Nyní je důležité zvolit vhodný vstřikovací lis, na kterém bude výroba probíhat. Mezi nejdůležitější parametry každého vstřikovacího lisu je jeho maximální uzavírací síla, kterou lis uzavře vstřikovací formu během vstřikování a dotlaku taveniny.

Je nutné určit, jak velká bude potřebná minimální uzavírací síla. Pro výpočet uzavírací síly použil autor volně dostupnou aplikaci na webových stránkách německého výrobce vstřikovacích lisů Dr. BOY. Ze zadaných parametrů - plocha příčného průřezu dutiny formy kolmo ke vtoku, minimální tloušťka stěny, nejdelší délka toku taveniny a faktoru složitosti bylo automaticky vypočítáno, že lis bude muset vyvinout alespoň 961 kN uzavírací síly. Zákazník již vlastní kromě ostatního potřebného vybavení vstřikovací stroj BOY 100 E, jehož maximální uzavírací síla je 1000 kN, je tedy možné na něm výrobu provádět. [16]

Na webových stránkách výrobce vstřikovacího lisu je také možné po zadání požadovaných parametrů vypočítat potřebný čas pro chlazení, celkovou dobu cyklu, spotřebu materiálu a el. energii. Jelikož se bude používat polykarbonát, je nutné jej před zpracováním vysušit. Firma Dr. BOY doporučuje vysoušení polykarbonátu po dobu 2 až 3 hodin při 120 °C. [16]

Potřebné vybavení pro výrobu je uvedeno v tab. 5.1.

Tab. 5.1 Seznam potřebných strojů pro výrobu. [17]

Název stroje	Výrobce	Model	Počet	Spotřeba materiálu [kg/h]	Spotřeba el. en. [kW/h]	Cena [€/kus]
Vstřikovací lis	Dr. BOY	BOY 100 E	1	8,35	3,29	55 000
Vstřikovací forma	-	-	1	-	-	35 000
Sušička	Gerco	GTT 50 ES	1	-	5,75	7 000
Dopravník	Gerco	GKS 50	2	-	0,85	1 000
Temperační jednotka	Sise	TYPE 95 E 6	2	-	6	1 500

Před samotným výpočtem ceny je důležité si určit podmínky výroby. Nejprve je potřeba si určit skutečné využití pracovní doby. Pokud bude trvat jedna směna 8 hodin, během kterých se musí stroj uvést do pracovního stavu, na konci zase vypnout a provádět údržbu, je maximálně stroj v provozu 7 nebo méně hodin za den, což je využití směny na maximálně 87,5 %. Dalším důležitým faktorem je využití vstřikovací formy. Předpoklad je, že po skončení výroby bude forma zakonzervována a uskladněna a vstřikovací lis se bude dále používat s jinou formou při výrobě jiného výrobku. Cena formy se tedy musí rovnoměrně rozložit do cen všech hotových výrobků, z čehož vyplývá, že čím více výrobků vyrobíme, tím bude jejich cena méně zatížena cenou formy. Do výpočtu ceny je nutno také zahrnout pořizovací cenu vybavení a dobu, do které se musí náklady na jejich pořízení rozpočítat. Zákazník předpokládá, že náklady na vybavení rozdělí rovnoměrně na 10 000 hodin provozu. S poslední položkou, se kterou bylo při výpočtu ceny počítáno, jsou náklady na obsluhu.

Náklady na výrobek ovlivňuje mnoho dalších faktorů, například náklady na pracovní prostor, náklady na vytápění/chlazení pracovního prostoru, údržba a opravy lisu a formy, náhlé odstávky, změna cen materiálu a elektřiny, změna kurzu nebo to, že se potřebné vybavení většinou pořizuje na úvěr od banky.

U výpočtu nákladů bylo počítáno s cenou za materiál 2,81 €/kg při kurzu 27,6185 Kč/€ k datu 23.4.2017 a cenou za el. energii 3,71 Kč/kWh. Náklady na pořízení všech strojů jsou rozpočítány na 10 000 pracovních hodin. Rozepsané náklady na výrobu jsou uvedeny v tab. 5.2 [18, 19]

Tab. 5.2 Náklady na provoz jedné hodiny výroby.

Náklady na vybavení [Kč]	2 817 087,00 Kč
Náklady na en. [Kč/h]	84,37 Kč
Náklady na mat. [Kč/h]	648,03 Kč
Náklady na obsluhu [Kč/h]	100,00 Kč
Celkové náklady na provoz [Kč/h]	832,39 Kč
Celkové náklady na provoz strojů [Kč/h]	281,71 Kč

Nyní jsou známe hodinové náklady na provoz výroby, jako je spotřeba materiálu, elektrické energie a plat obsluhy. V tab. 5.3 je možno vidět, jak dlouho bude trvat vyrobít určitý počet výrobků, kolik dnů výroba zabere, jaký bude součet nákladů a jaké budou náklady na jeden výrobek. V tabulce je také zvýrazněná oblast, která zákazníka zajímá.

Tab. 5.3 Kalkulace nákladů na jeden kus výrobku.

Počet kusů	Doba výroby [h]	Počet dnů na výrobu	Součet nákladů	Cena za 1 kus
100	1	1	967 762 Kč	9 677,62 Kč
200	2	1	968 876 Kč	4 844,38 Kč
500	5	1	972 218 Kč	1 944,44 Kč
1 000	10	2	977 789 Kč	977,79 Kč
10 000	100	11	1 078 058 Kč	107,81 Kč
15 000	150	17	1 133 763 Kč	75,58 Kč
20 000	200	22	1 189 468 Kč	59,47 Kč
50 000	500	55	1 523 698 Kč	30,47 Kč
75 000	750	83	1 802 223 Kč	24,03 Kč
100 000	1000	110	2 080 748 Kč	20,81 Kč
200 000	2000	219	3 194 849 Kč	15,97 Kč
400 000	4000	438	5 423 051 Kč	13,56 Kč
1 000 000	10000	1094	12 107 655 Kč	12,11 Kč

V grafu 5.1 je možno vidět grafickou závislost nákladů na jeden výrobek, při různě velké sérii výroby.



Graf 5.1 Grafické znázornění nákladů na 1 výrobek u poptávané série.

Vypočítané náklady byly odeslány zákazníkovi, na jejichž základě se rozhodne, zda se mu výroba a prodej vyplatí nebo ne. Pokud bude zákazník souhlasit, může se začít s výrobou vstřikovací formy.

6 DISKUZE

Při návrhu modelu struhadla pracoval autor s všeobecnými znalostmi o tvaru struhadel na tvrdý sýr. V rámci této bakalářské práce si zvolil autor konstrukci a použitý materiál dle svého uvážení, avšak při skutečné zakázce by bylo zřejmě potřeba ověřit pevnostní charakter této soustavy pomocí vhodného softwaru.

V rámci zkrácení výroby a hlavně ušetření nákladů je při návrhu výrobního procesu počítáno s využitím normálií, což ovšem není nezbytně nutné a každý díl vstřikovací formy je samozřejmě samostatně vyrobitelný. Například při problému s dodáním normalizovaného dílu nebo z důvodu, že díl není nabízen je nutné jej vyrobit na zakázku nebo přímo ve firmě vyrábějící tvarovou část vstřikovací formy. Tvarovou část dutiny lze vyrobit i na 3D tiskárně. Tyto výrobky ovšem nemají dlouhou životnost a slouží spíše na ukázkou možností a jsou zobrazeny v příloze 3.

Metoda, která byla použita pro výrobu zákazníkem požadovaného výrobku lze vyrobit i reklamní předměty, například svorka na papír, jejíž výroba je zobrazena v příloze 2, nebo ozubená kola pro jemnou mechaniku, která jsou zobrazena v příloze 4.

Nastavení vstřikovacího lisu je nedílnou součástí výroby pomocí vstřikovací formy. Správné nastavení vstřikovacího lisu je někdy velmi obtížné. Neschopnost nebo dlouhá doba jeho nastavování vede nejenom ke zdržení výroby, plýtvání materiálu nebo ke špatně vystříknutým výrobkům, může se ale také při nevhodné manipulaci poškodit jak vstřikovací forma, vstřikovací jednotka tak i celý vstřikovací lis. Nastavení temperační jednotky také není lehký úkol, protože trvá několik cyklů, než se forma vlivem taveniny zahřeje. Pokud by se forma příliš chladila, nebo začala chladit příliš brzy, mohlo by dojít k předčasnému zatuhnutí taveniny, což by vedlo k zastavení výroby. Naopak pokud by teplota nebyla dostatečná, nebo by se spustila příliš pozdě, mohlo by dojít ke spálení plastu a tím opět k zastavení výroby.

Na závěr této bakalářské práce byla provedena dle požadavku zákazníka kalkulace nákladů na jeden výrobek. Cena vstřikovací formy byla odborně odhadnuta vzhledem k jiné, tvarově podobné formě, která je zobrazena v příloze 1.

V tab. 5.2 lze vidět rozložení nákladů na jednu hodinu výroby. Je zřejmé, že největší vliv na náklady v poptávaném množství výroby, má více než 60 % cena materiálu. Ta se ovšem v průběhu výroby bude zřejmě měnit, stejně tak jako měnový kurz. Tomuto lze předejít, kdyby se materiál naskladnil v době jeho nízké ceny nebo v době výhodného kurzu. Do nákladů nebyly zahrnuty například náklady na prostor nebo jejich vytápění a klimatizování, jelikož autor nezná podmínky zázemí zákazníka, ani budoucí rozmístění strojů, tedy potřebnou plochu. Dále bylo uvažováno s využitím 7 z 8 hodin pracovní směny. Při výpočtu autor nezohlednil neočekávané zastavení výroby z důvodu poruchy, odstavení dodávek elektrické energie nebo nedostatku materiálu, jelikož jsou nepředvídatelné.

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout výrobní postup pro díl ze vstřikovací formy. V tomto případě se jednalo o struhadlo na tvrdý sýr. Části této bakalářské práce lze shrnout do několika bodů:

- První kapitola této bakalářské práce je čistě rešerše, ve které byla představena vstřikovací forma jako celek s jejími funkcemi. Kapitola dále obsahuje například vliv smrštění nebo výpočet násobnosti forem.
- V druhé kapitole navrhuje autor na základě poptávky na výrobu od zákazníka model a materiál, ze kterého se bude výrobek vyrábět. Jsou zde zmíněny požadavky zákazníka jak na výrobek, tak na postup zakázky.
- Třetí kapitola se věnuje tvorbě TPV dokumentace a to zejména teoretickému postupu výroby formy. V druhé části této kapitoly se nachází popis nastavení formy a lisu před prvním spuštěním výroby.
- V následující kapitole je teoreticky shrnut návrh výrobního procesu pro konkrétní výrobek.
- V poslední kapitole je uveden seznam potřebných strojů pro výrobu a výpočet celkových nákladů. Na závěr kapitoly je uvedena tabulka a graf, znázorňující celkové náklady na jeden kus hotového výrobku.

Zákazník požadoval výpočet nákladů na sérii 20 až 200 tisíc výrobků, které jsou uvedeny v grafu 5.1. V tabulce 5.3 je možno vidět, že náklady na poptávanou sérii jsou od 60 do 16 Kč na jeden výrobek. Návrh výrobního procesu a kalkulace nákladů na výrobu byly provedeny čistě teoreticky, tudíž by se ve skutečnosti mohli mírně lišit.

ZDROJE

- [1] JANČUŠOVÁ, Mária. Formy na tvárnenie plastov. Žilina: Žilinská Univerzita, 2010. ISBN 9788055401911.
- [2] Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů [online]. Střední odborné učiliště Svitavy, 2016 [cit. 2017-02-12]. ISBN 978-80-88058-65-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/Impresum.html>
- [3] Lenfeld, P. Vstřikovací formy - 1. vtoková soustava [Internet]. 2010 [cit. 2017-02-12] 14 str. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c8/VS.pdf
- [4] Vtoková soustava. In: Docplayer [online]. [cit. 2017-02-13]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/docs-images/40/8950439/images/1-0.jpg>
- [5] Hynek, M. Studené a živé vtokové systémy [Internet]. Západočeská univerzita v Plzni. 2013 [cit. 2017-02-18] 13 str. Dostupné z: http://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Studene_a_zive_vtokove_systemy.pdf
- [6] Hynek, M. Temperace vstřikovacích forem [Internet]. Západočeská univerzita v Plzni. 2013 [cit. 2017-02-19] 13 str. Dostupné z: http://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Temperace_vstrikovacich_forem.pdf
- [7] Žák. Vstřikovací formy. [Internet] Vysoké učení technické v Brně. [cit. 2017-03-15]
- [8] Dieselův efekt ve formách. Plasticportal [online]. Svoboda, 2014 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <http://www.plasticportal.sk/sk/konec-diesel-efektu-ve-formach/c/2375>
- [9] Polycarbonate. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Polycarbonate>
- [10] Leštění [online]. [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: <http://www.slechtasro.cz/sluzby/zrcadlo-vesteni/>
- [11] Tvrdé frézování v oblasti nástrojů a forem [online]. Oettle, 2005 [cit. 2017-03-26]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/tvrde-frezovani-v-oblasti-nastroju-a-form.html>
- [12] Vliv temperace vstřikovacích forem na kvalitu a cenu výstřiku z termoplastu. Plasticportal [online]. Zeman, 2013 [cit. 2017-03-30]. Dostupné z: <http://www.plasticportal.cz/cs/vliv-temperace-vstrikovacich-form-na-kvalitu-a-cenu-vystriku-z-termoplastu-cast-2/c/1778>
- [13] Normálie. Meusburger [online]. [cit. 2017-04-01]. Dostupné z: <http://www.meusburger.com/cz/normalie.html>

[14] 5 podstatných věcí, které byste měli vědět o vstřikovacích formách na plasty. Factory automation [online]. [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/5-podstatnych-veci-ktere-byste-meli-vedet-o-vstrikovacich-formach-na-plasty/>

[15] Technická univerzita Liberec: Katedra strojírenské technologie [online]. Lenfeld [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm

[16] Dr. BOY [online]. [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <http://app.dr-boy.de/>

[17] 1. Plast company [online]. [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <http://www.1plastcompany.cz/cs/>

[18] Ceny elektrické energie [online]. 2017 [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: <http://www.energie123.cz/elektrina/ceny-elektricke-energie/cena-1-kwh/>

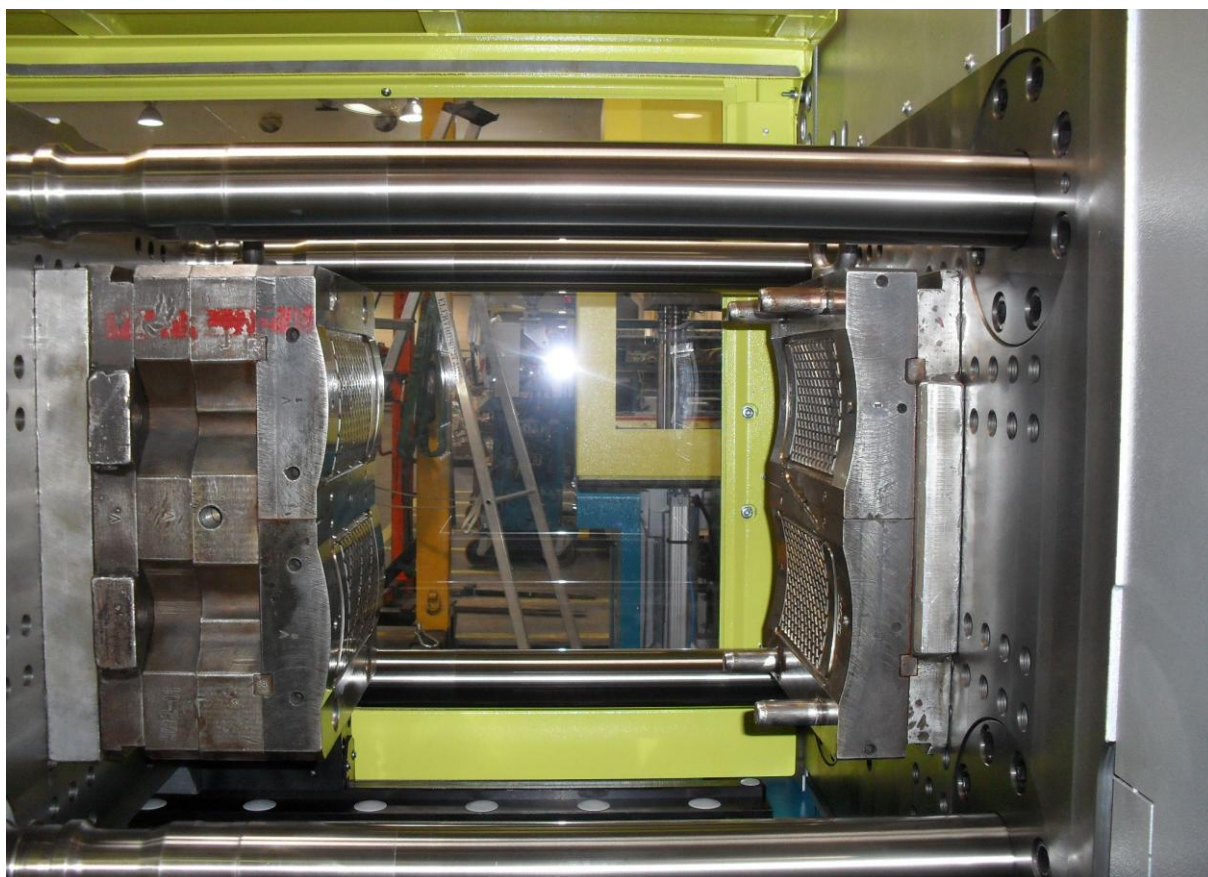
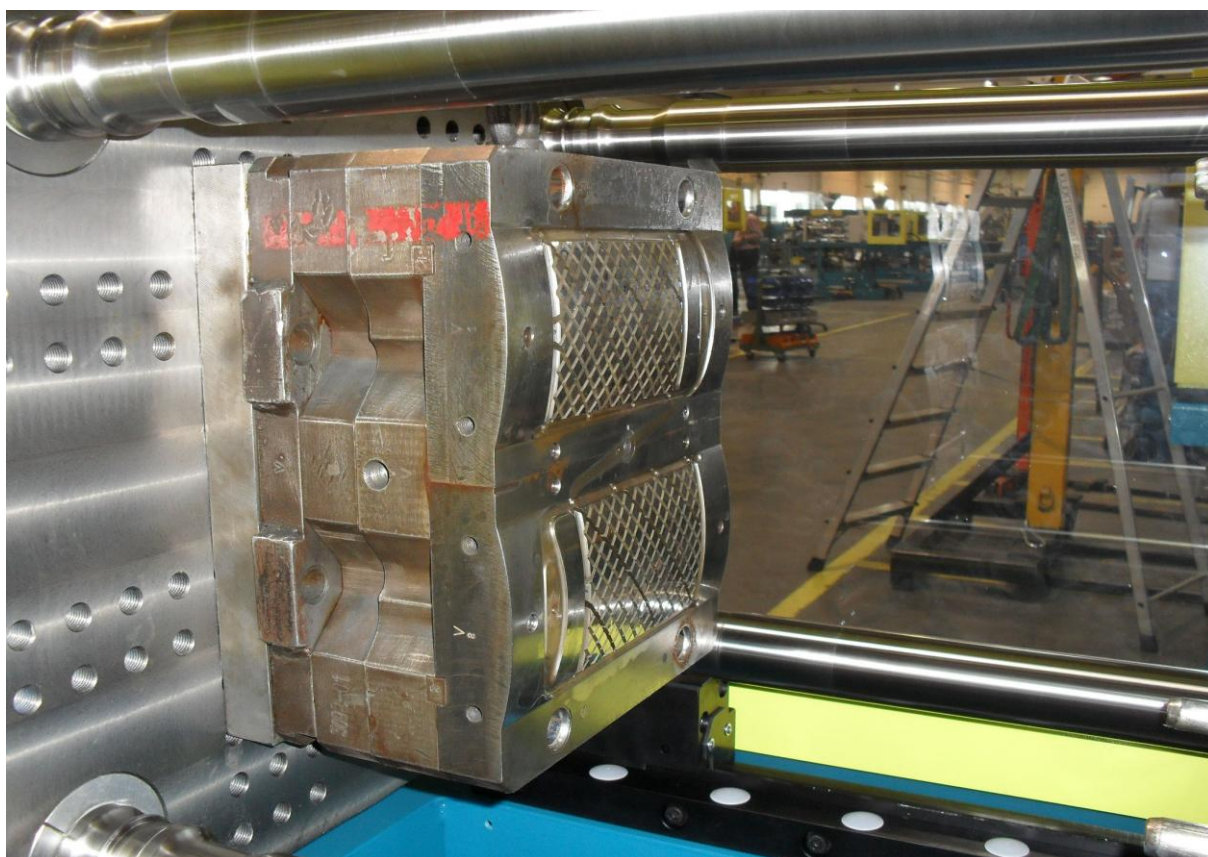
[19] Kurzovní lístek [online]. 2017 [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: <https://www.kb.cz/kurzovni-listek/cs/rl/history.x?currency=EUR>

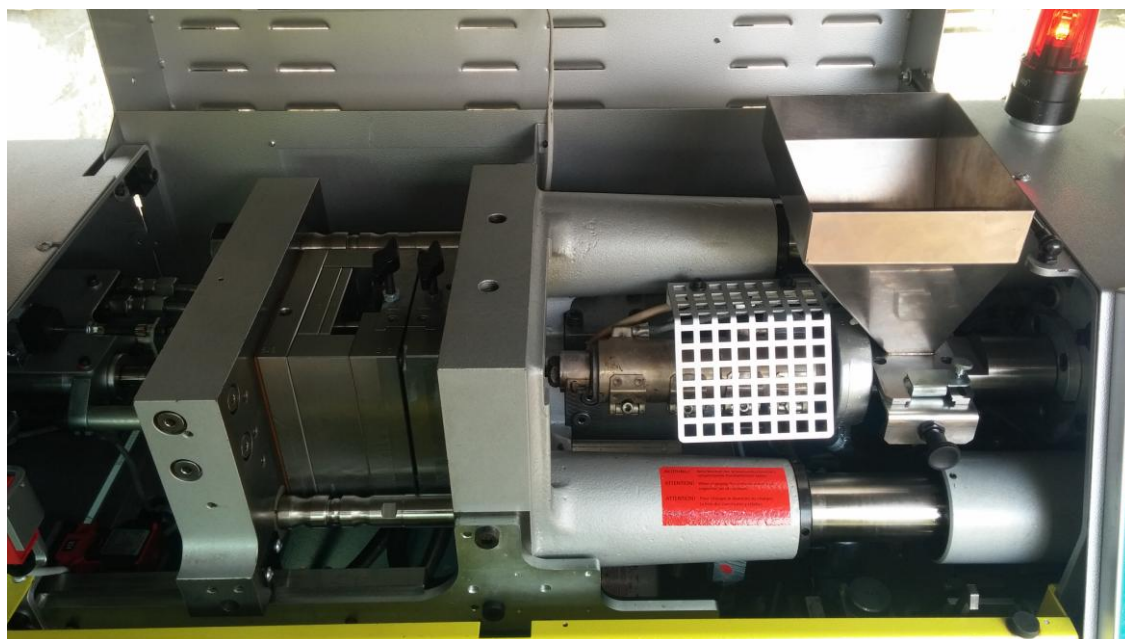
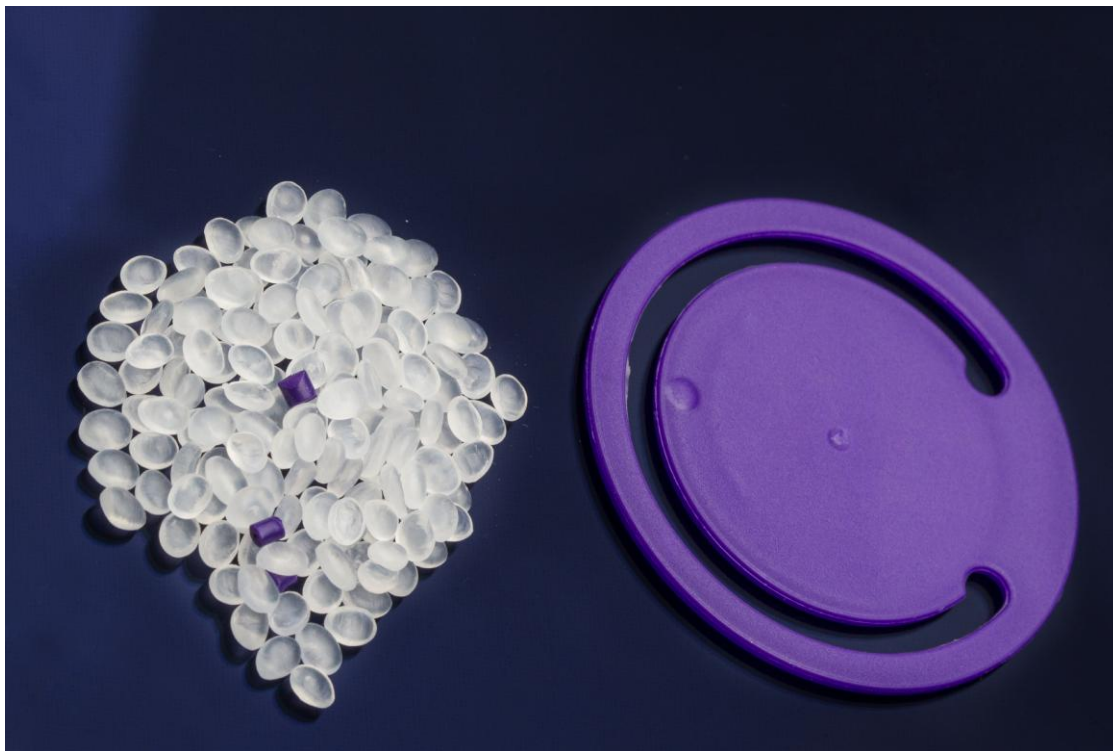
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBLŮ A ZKRATEK

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
ABS		akrylonitrilbutadienstyren
D	$[\text{dnů} \cdot \text{rok}^{-1}]$	počet pracovních dní v roce
F_{uz}	[N]	velikost uzavírací síly
H	$[\text{hod} \cdot \text{směna}^{-1}]$	počet hodin za směnu
k	[-]	koeficient využití pracovní směny
m	[g]	hmotnost výrobku
N	$[\text{ks} \cdot \text{rok}^{-1}]$	předpokládaný počet kusů výroby
n_e	[-]	násobnost dle ekonomiky
n_s	[-]	násobnost dle plochy
n_u	[-]	násobnost dle uzavírací síly
n_v	[-]	násobnost dle objemu
p	$[\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}]$	tlak ve formě
P	[N]	přidržovací síla lisu
PA		polyamidy
PBT		polybutyltereftalát
PC		polykarbonát
PE		polyetylen
P_{odv}	$[\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}]$	dovolený vstřikovací tlak
POM		polyoxymetylen
PP		polypropilen
p_v	$[\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}]$	vstřikovací tlak
Ra	$[\mu\text{m}]$	střední aritmetická úchylka profilu
S	$[\text{počet} \cdot \text{den}^{-1}]$	počet směn
SAN		styren akrylonitrilová pryskyřice
S_{skut}	$[\text{mm}^2]$	plocha průmětu výstřiku do dělicí roviny
S_{teor}	$[\text{mm}^2]$	teoretická plocha
t	$[\text{°C}]$	teplota
t_c	[s]	celkový čas cyklu
T_g	$[\text{°C}]$	teplota zesklnění
V	$[\text{mm}^3]$	maximální objem vstřikovaného materiálu
V_{skut}	$[\text{mm}^3]$	skutečný vstříknutý objem
normálie		normalizované díly pro stavbu forem

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Vstřikovací forma na struhadlo od firmy Dr. BOY
Příloha 2	Výroba sponky na papír z polypropylenu
Příloha 3	3D tištěná vstřikovací forma od firmy Dr. BOY
Příloha 4	Ozubené kolo od firmy Dr. BOY





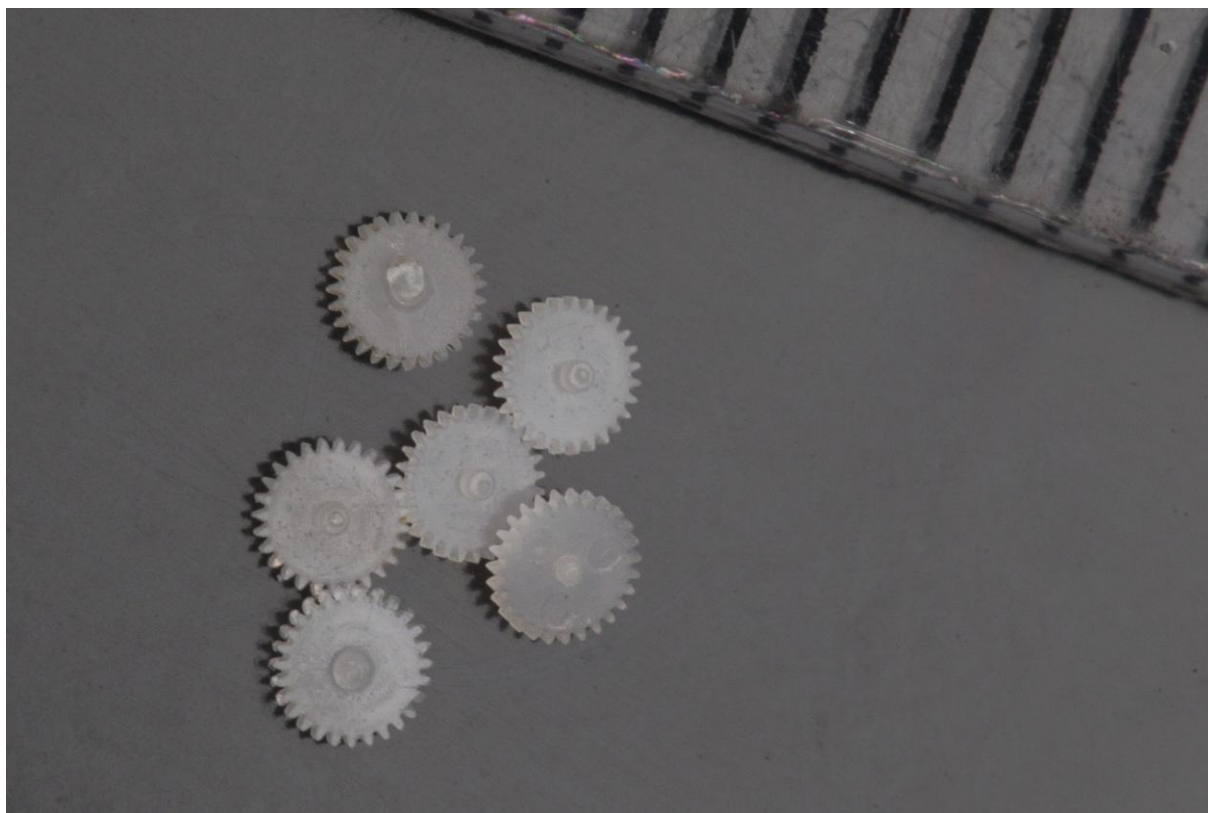




3D tištěná forma z kovu



3D tištěná forma z plastu



Velikost výrobku: cca 2 mm